

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS

ESTRUCTURA HISTOLOGICA DE LA PIEL DE TOMATE (*LYCOPERSICON  
ESCULETUM*) EN RELACION CON SU RESISTENCIA MECANICA

LAURA PAGALDAY, MARGARITA RUIZ

Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias

Serie: Agrícola

# ESTRUCTURA HISTOLOGICA DE LA PIEL DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) EN RELACION CON SU RESISTENCIA MECANICA

Laura PAGALDAY

Margarita RUIZ

Departamento de Mecanización Agraria. ETSIA \*. Madrid  
(Con la colaboración del Departamento de Biología e Histología Vegetal  
de la misma Escuela)

## RESUMEN

La resistencia de la piel es un factor determinante de la resistencia mecánica de los frutos de tomate. Los ensayos de punción se han mostrado muy útiles para el conocimiento de las diferencias entre las variedades en ese aspecto. El estudio histológico de las zonas epidérmica e hipodérmica de este mismo material muestra la importancia de la cutícula y de la forma de las células epidérmicas en relación a la resistencia a la punción.

## INTRODUCCION

Todas las variedades de tomate cultivadas actualmente derivan de la especie *Lycopersicon esculentum* pertenecientes a la familia de las solanáceas; familia que desde la antigüedad era conocida como prototipo de venenosa en la Europa Occidental.

Este fruto, considerado como hortaliza, ha superado con amplios márgenes todo tipo de producción previsible, alcanzando sus cultivos extensiones de más de 200.000 ha en los EE. UU., y unas 20.000, en España. A la vista de tan espectacular aumento inmediatamente se plantean los problemas referidos al rendimiento del mismo. Los aumentos de producción han sido espectaculares en los últimos quince años; se ha pasado de 13,5 t/ha a 51,5 t/ha de producción media en California —país en que la mecanización del cultivo es total— existiendo numerosos equipos de investigación en esta especie, dentro de los dos aspectos generales:

- Introducción de nuevas variedades.
- Mejora de los medios de producción.

Ha llegado el momento en que el tomate dedicado a la industria de transformación (más del 80 p. 100 de la producción total) exige un cultivo totalmente mecanizado para ser rentable. En este objetivo se han centrado la mayor parte de los trabajos de investigación (actualmente también para el tomate fresco de mercado) siendo uno de los principales aspectos el de la resistencia de los frutos a las agresiones mecánicas.

Varios trabajos han demostrado que una parte importante de la resistencia del tomate se basa en la de su capa externa que denominamos piel («skin»).

En relación a este problema, y como consecuencia del material y conjunto de datos reunidos en los últimos años por el Departamento de Mecanización Agraria de la ETSIA,

---

Recibido (22-2-1982).

\* Universidad Politécnica de Madrid. Avda. de Séneca, s/n. Madrid-3.

de Madrid, surge el interés de profundizar en las causas de las diferencias de resistencia observadas entre variedades de tomate para industria. Se intenta, por tanto, establecer una relación entre la estructura histológica de la epidermis y la resistencia mecánica que ofrecen dichos materiales (RUIZ ALTISENT, 1977; RUIZ ALTISENT, *et al.*, 1979).

Existen diversos trabajos que estudian la morfología del pericarpio y la naturaleza de la piel de distintos frutos en relación con la textura, con los cambios que sufren en los distintos tratamientos industriales, con la susceptibilidad al «cracking» o agrietamiento de la piel y otros aspectos, pero no se encuentran trabajos que se relacionen directamente con la resistencia mecánica.

STROHMAIER (1949) estudia los efectos de distintos tratamientos (lejía, vapor, deshidratación) sobre la estructura histológica de la piel de ciruela, relacionándolos con la resistencia a punción, como medida de la dureza de la piel del producto para el consumo. COTNER (1968) determina diferencias en la estructura epidérmica para distintas variedades del tomate que difieren en su resistencia al «cracking», pero no de forma independiente, sino relacionándolos con el número de haces vasculares y con el número y tamaño de los lóculos. VOISEY, *et al.* (1970) relacionan la susceptibilidad al agrietamiento con el grosor de la cutícula y la elongación de muestras de piel, determinando que no hay correlación positiva de la resistencia a la punción y el grosor de la cutícula con la resistencia al agrietamiento. MEL CHIH-YU CHU, *et al.* (1972) relacionan una vez más la susceptibilidad al agrietamiento con la anatomía microscópica del pericarpio, estableciendo la importancia de las capas epidérmicas y subepidérmicas, y el distinto comportamiento de mutantes diferentes con respecto a la resistencia y al «cracking». REEVE (1970) intenta relacionar en diversos frutos las distintas texturas y los cambios que sufren en los procesos industriales con la estructura histológica en distintos frutos; así como también los cambios de textura con la maduración. Por último, BATAL, *et al.* (1972) observan los efectos de ciertos reguladores del crecimiento sobre el agrietamiento del tomate y su influencia en la anatomía del pericarpio y la relación entre estos dos factores.

Los objetivos de este trabajo se concretan en los siguientes:

1. Determinar la variabilidad en la resistencia mecánica de distintas variedades de tomate para industria, y,
2. Establecer las características histológicas que pueden determinar dicha variabilidad en la resistencia mecánica medida.

## MATERIALES Y METODOS

El método utilizado en las determinaciones de resistencia a la punción viene detallado en trabajos anteriores (RUIZ ALTISENT *et al.*, 1977 y 1979 a y b). Se realiza por medio de una máquina de ensayo consistente en un dinamómetro de mesa, cuya plataforma asciende a velocidad constante y regulable. Para los trabajos de campo se utiliza la máquina que se muestra en la Figura 1 (Chatillon, mod. CTCM).

En el dinamómetro (de fuerza máxima 1 kg = 9,8 N) se fija un troquel o punzón cilíndrico de acero de base plana y 0,45 mm de diámetro con el cual se procede a la punción y determinación de la fuerza máxima requerida en cinco puntos de la zona ecuatorial de cada fruto, y 10 frutos por variedad ensayada.

Las variedades de tomate de industria utilizadas en este ensayo (Cuadro 1) fueron cultivadas en los Campos de Prácticas de la ETSIA de Madrid. Sembradas en semillero el

## ESTRUCTURA HISTOLOGICA DE LA PIEL DE TOMATE

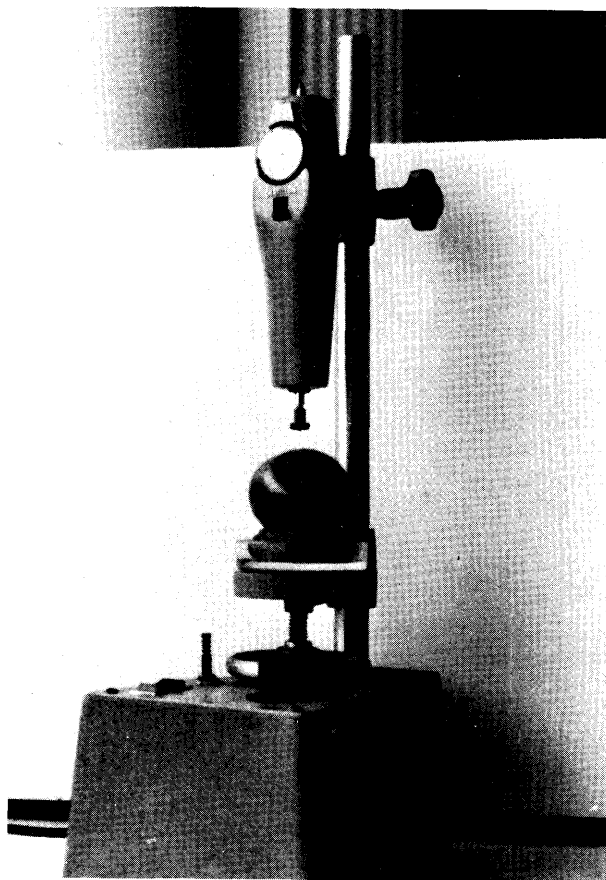


Fig. 1.—Dinamómetro de mesa provisto del punzón (0,4 mm de diámetro) utilizado en la determinación de la resistencia mecánica de la piel.

23 de marzo (1976) se trasplantaron a la parcela (en campo) el 26 de mayo, en subparcelas de  $4,5 \times 5$  m, en camas de 1 m de anchura, y dos bloques al azar.

La recolección se efectuó entre el 15 y el 30 de septiembre. Todas las variedades ensayadas son de industria, de tipo mecanizable (porte bajo y madurez concentrada). Entre ellas se eligieron muestras de los distintos tipos cultivados: «pera» (Napoli, Roma, Ventura, H-324-1, H-4016); «redondo» (VF 145, H-2274, Chef, Mecheast) y «stone» (Peto-mech II).

Se tomaron 10 frutos en madurez incipiente, dejándose madurar en el laboratorio, en condiciones homogéneas durante tres días a  $20^{\circ}$  C.

En cada variedad, una vez determinada la resistencia a la punción, se tomaron varias muestras de dos frutos elegidos al azar, y en la zona de punción: con tijera se tomaba una porción de piel y de tejido interior, de aproximadamente  $1 \text{ cm}^2$ , introduciéndose en solución FAA (ver referencia siguiente) para su fijación y conservación, pasándose posteriormente a alcohol de  $70^{\circ}$  para su conservación a largo plazo.

Siguiendo las técnicas detalladas por MARTINEZ *et al.* (1970) y JOHANNSEN (1940) se procedió a su inclusión en parafina, corte y tinción con safranina y *fast-green*. Los cortes se realizaron a 12 micras de espesor, y el proceso que resultó idóneo, después de realizar pequeños ajustes sobre el método básico fue el siguiente:

Deshidratación:

Alcohol 70 p. 100 .....	1	hora
Alcohol 85 p. 100 .....	1	hora
Alcohol 96 p. 100 .....	1	hora
Alcohol 100 p. 100 .....	1	hora

Desparafinado y tinción:

Alcohol-xilol 1:1 .....	1	hora
Xilol .....	2	horas
Xilol-alcohol 100 p. 100 1:1 .....	5	min
Alcohol 100 p. 100 .....	5	min
Alcohol 95 p. 100 .....	5	min
Alcohol 95 p. 100 .....	2	min
Alcohol 70 p. 100 .....	2	min
Safranina .....	36	min
Alcohol-ac. pícrico .....	0,5	min
Alcohol-NH <sub>3</sub> .....	1	min
Alcohol .....	1	min
Fast-green .....	0,25	min
Aceite de clavo .....	5	min
Aceite de clavo-xilol .....	0,5	min
Alcohol-xilol .....	3	min
Xilol .....	10	min
Xilol .....	10	min

Por último, las preparaciones se montaron con bálsamo de Canadá para su futura observación y estudio mediante microscopio ordinario.

Una vez llevada a cabo la observación detallada de todas las muestras se procedió, en áreas de las mismas elegidas al azar, a la medida de la anchura (30 datos/variedad) y altura (ocho datos/variedad) de las células epidérmicas, así como también el espesor de la cutícula (ocho datos/variedad), para su posterior análisis estadístico. Estas medidas se realizaron por medio de un equipo micrométrico adaptado al microscopio.

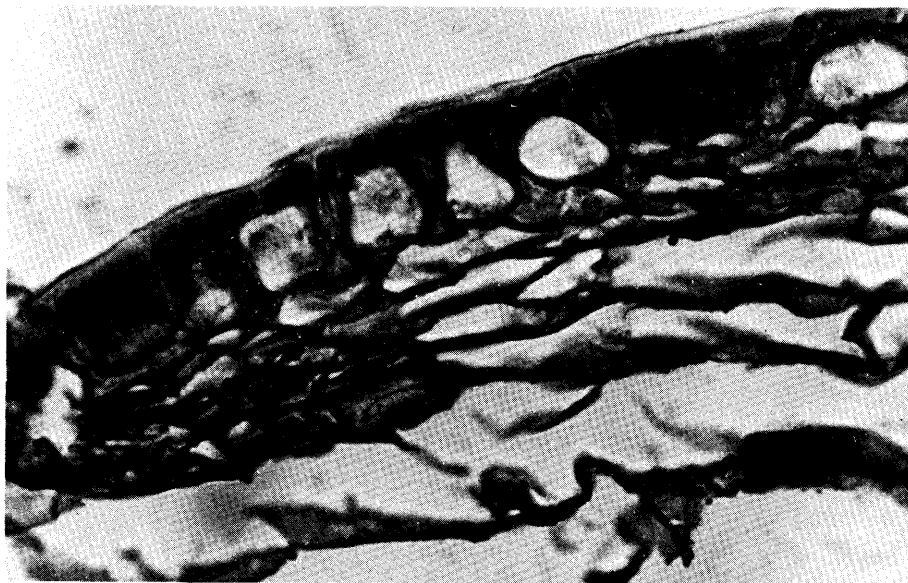
De las 10 variedades inicialmente estudiadas, tres de las muestras se perdieron en los procesos de inclusión parafínica. Se estudiaron en total más de 50 muestras de las siete variedades restantes.

## RESULTADOS Y DISCUSION

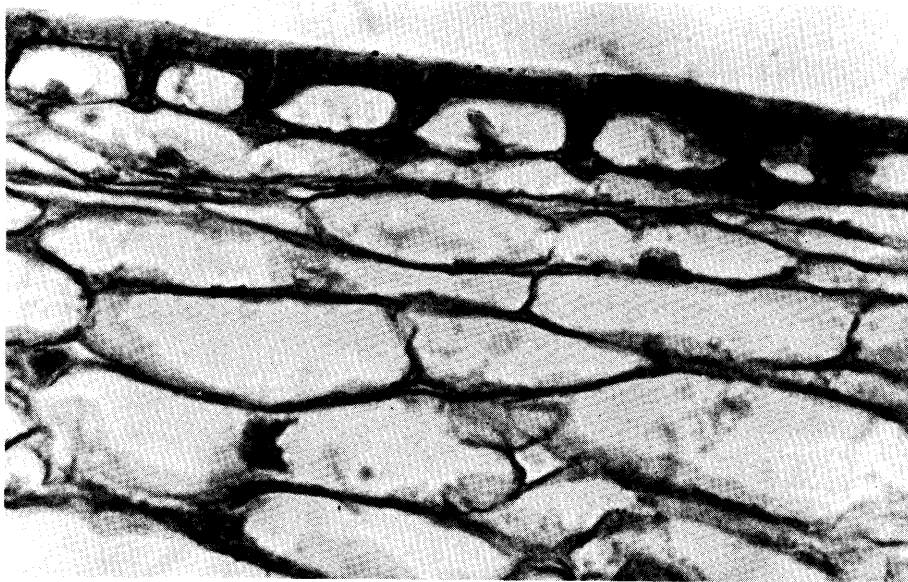
Las variedades ensayadas muestran claras diferencias en resistencia a la punción significativas al nivel del 1 p. 100, para valores medios varietales. Los valores medios de los frutos individuales, sólo ligeramente diferentes de aquéllos, se muestran en el Cuadro 1.

Se ha demostrado que la resistencia de la piel (medida como fuerza de punción) es el componente más importante, desde el punto de vista mecánico, de la resistencia de los frutos a la rotura en los procesos de recolección y transporte. La correlación entre las

## ESTRUCTURA HISTOLOGICA DE LA PIEL DE TOMATE

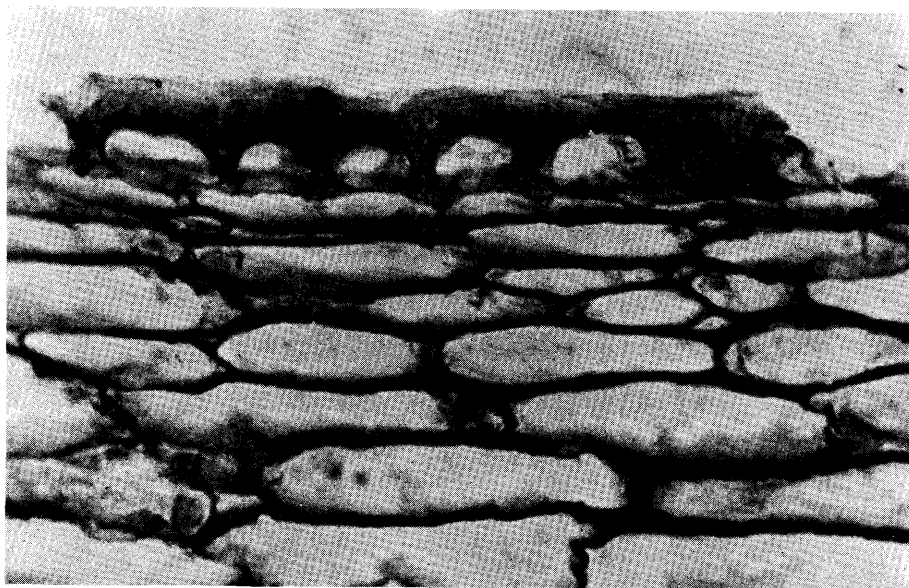


(a)

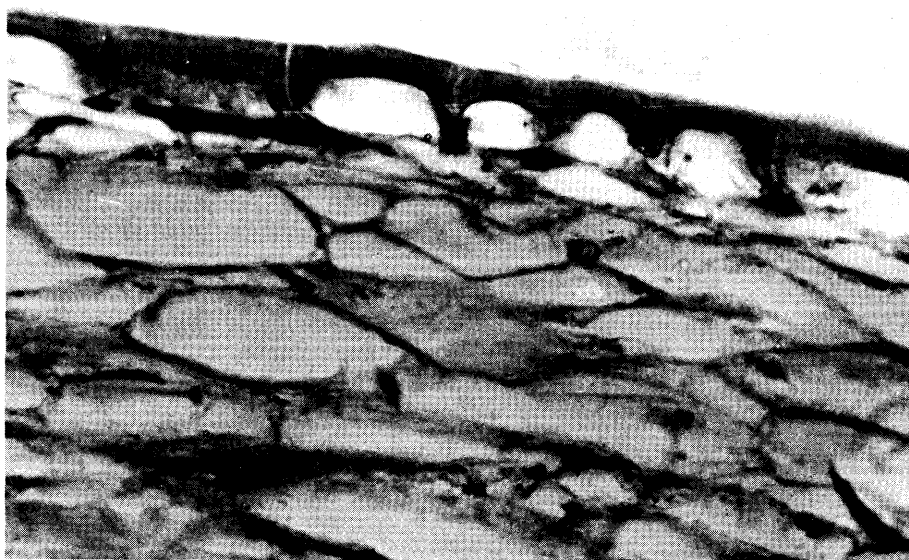


(b)

Fig. 2.—Microfotografías ( $\times 40$ ) de las variedades H-324-1 (a) y H-2274 (b). Se observa el grosor de la cutícula y su penetración bajo las células de la epidermis. (Realizadas por el laboratorio fotográfico del Departamento de Biología y Fisiología Vegetal de la ETSIAM).



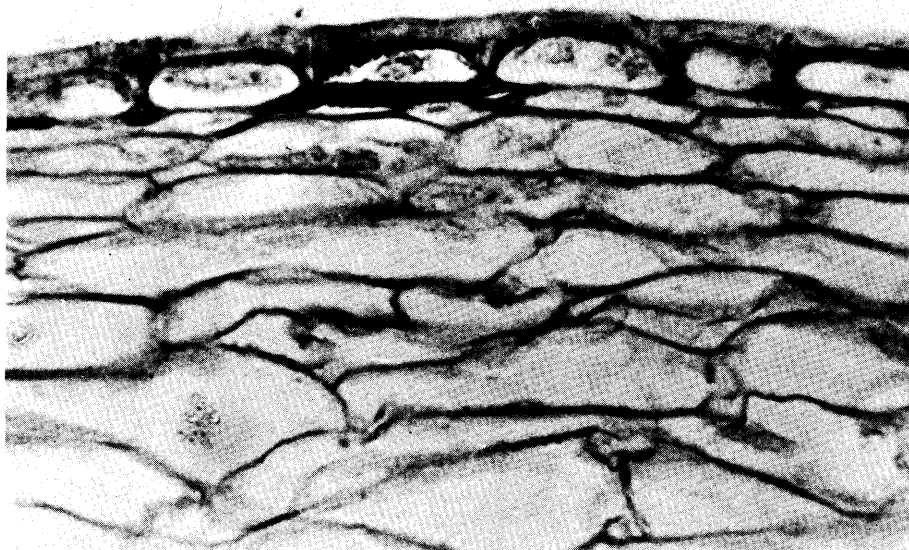
(a)



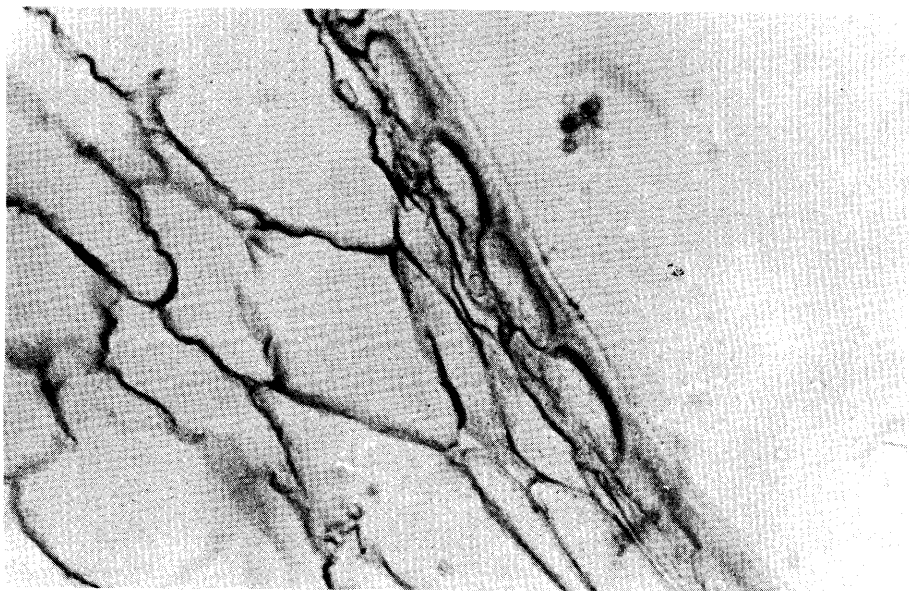
(b)

Fig. 3.—Microfotografías ( $\times 40$ ) de las variedades Petomech II (a) y Mecheast 55 (b).

## ESTRUCTURA HISTOLOGICA DE LA PIEL DE TOMATE



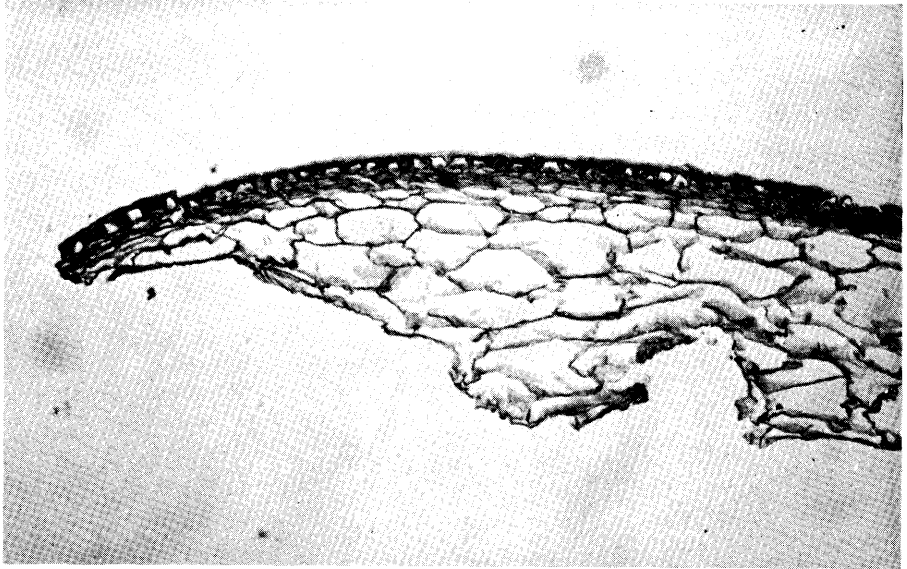
(a)



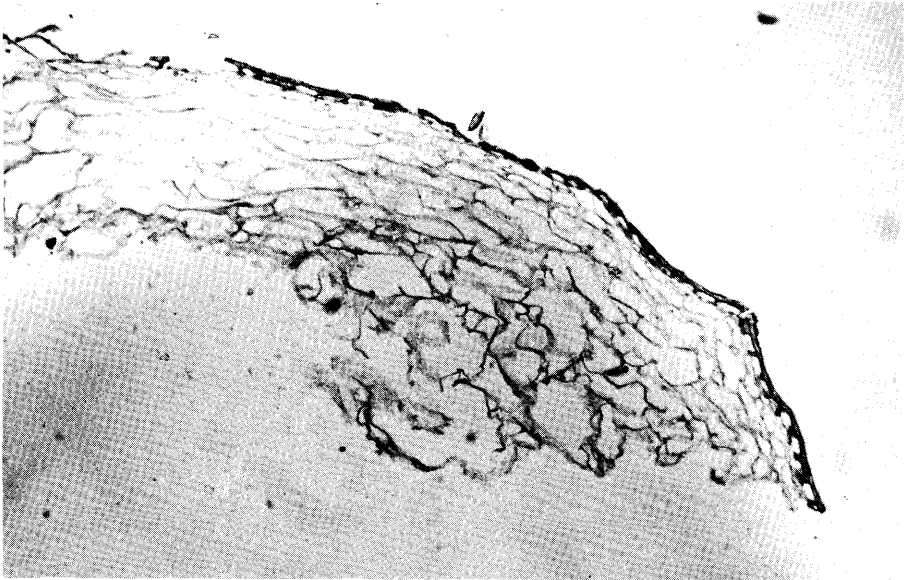
(b)

Fig. 4.—Microfotografías ( $\times 40$ ) de las variedades Napoli (a) y Chef (b). En contraste con la Figura 2, se observa la forma aplanada de las células y la cutícula más delgada y menos penetrante.





(a)



(b)

Fig. 5.—Microfotografías ( $\times 5$ ) de la zona epidérmica de las muestras que presentan valores extremos (H-324-1) (a) y Napoli (b) de resistencia, donde se observa claramente (a) la capa hipodérmica mencionada, en contraste con su inexistencia en (b).

## ESTRUCTURA HISTOLOGICA DE LA PIEL DE TOMATE

características epidérmicas e hipodérmicas y la resistencia de la piel, contribuye al conocimiento de las causas estructurales de la misma (no solamente en el tomate, sino también posiblemente en otros frutos).

Se realizaron también análisis de varianza, de correlación y regresión, con las variables de tamaño de las células en relación con la de fuerza de punción. En la mayoría de los ensayos realizados aparece repetidamente efecto significativo entre los diferentes frutos de la misma variedad, que no es posible relacionarlo con diferencias en la madurez. No se intentó diferenciar entre plantas de la misma variedad, por lo que algunas diferencias entre frutos pueden atribuirse a variabilidad entre plantas; entre las distintas variedades se ha observado que algunas muestran más variabilidad que otras en todo tipo de características determinadas y, en particular, las de resistencia mecánica.

La técnica de punción ha resultado apropiada para determinar la resistencia de la piel. Otros sistemas para medir las propiedades de la piel exigen preparaciones de muestras que son demasiado complicadas para estudios de variabilidad donde tienen que tomarse cientos de medidas. Existe por otro lado la dificultad de establecer para cada variedad qué capas de células se toman como «piel»: hay variedades que presentan una zona hipodérmica que puede ser esencial en la resistencia de la piel.

La superficie más externa de la variedad H-324-1 (Fig. 2.a), la más resistente en los tests de punción, está constituida por una capa de células epidérmicas fuertemente cutinizadas (ver también Cuadro 1). La forma de dichas células es claramente globular, redondeada. Bajo la epidermis se observa tanto en la Figura 2 como en la 4 una serie de tres a cuatro capas que, siguiendo los conceptos de MEL CHICH-YU CHU *et al.* (1972) llamaremos hipodermis.

Si seguimos observando las variedades restantes: Petomech II (Fig. 3.a) H-2274 (Fig. 2.b), Mecheast 55 (Fig. 3.b) Napoli y Chef (Fig. 4) con valores decrecientes en la resistencia a la punción, vemos que las células epidérmicas van perdiendo su forma redondeada para hacerse alargadas y planas. La cutícula va perdiendo su grosor y en las variedades menos resistentes a la punción, Napoli y Chef, nos encontramos con una capa cutinizada débilmente y que apenas llega a rodear a las células epidérmicas, mientras que en Petomech II se introduce hasta el segundo y tercer nivel de células de la hipodermis (Fig. 3.a).

Estos resultados vienen apoyados en el análisis estadístico de los parámetros medidos; altura y anchura de las células y grosor de la cutícula. Aparecen unas diferencias altamente significativas entre las medias varietales para cada parámetro. El Cuadro 1 muestra los valores medios de estos parámetros para las siete variedades estudiadas, en relación con la fuerza de punción, ésta como valor medio del mismo fruto del cual se tomó la muestra para el estudio microscópico. Los coeficientes de correlación con dicha fuerza de punción resultan altamente significativos para los tres parámetros. Es interesante hacer notar que las correlaciones con los valores medios varietales, aun siendo significativas son algo menos estrechas; este resultado proporciona una indicación más de que la fuerza de punción está determinada por estos parámetros epidérmicos. Los tres parámetros estudiados: altura y anchura de las células y grosor de la cutícula están interrelacionados en el sentido siguiente: células alargadas planas y con cutícula delgada equivalen a un número pequeño de células por unidad de superficie epidérmica; células más estrechas y altas (redondeadas) y con cutícula gruesa equivalen a un más alto número de células por unidad de superficie.

La hipodermis: capas de células situadas inmediatamente debajo de las células epidérmicas, aparece visiblemente en la variedad H-324-1 (Fig. 5.a). Aunque en la variedad H-2274 no aparece una hipodermis clara (Fig. 2), las capas de células situadas inmediatamente debajo de las epidérmicas presentan gran regularidad y pocos espacios intercelulares, formando una estructura más compacta que las variedades que la siguen en el cuadro de resistencia a la punción (véanse Figs. 4 y 5).

Aunque COTNER *et al.* (1968) llegan a la conclusión de que este tipo de variedades con las anteriores características histológicas es susceptible al agrietamiento, lo que podría parecer como una contradicción lo es sólo aparente, pues el agrietamiento fisiológico y la susceptibilidad al daño mecánico son dos problemas diferentes: VOISEY (1970) muestra la no correlación entre el grosor de la epidermis y la resistencia al agrietamiento. MEL CHIH-YU-CHU llega a la conclusión que variedades sin hipodermis, con epidermis débilmente cutinizada dan lugar a pieles elásticas que son ciertamente resistentes al agrietamiento, pero al mismo tiempo son susceptibles a pequeños esfuerzos de punción.

**CUADRO 1**  
**VALORES MEDIOS DE LOS PARAMETROS DE LAS CELULAS EPIDERMICAS,**  
**RELACIONADOS CON LAS FUERZAS DE PUNCION**

Variedad	Fuerza de punción (N)	Anchura de las células (µm)	Altura de las células (µm)	Grosor de la cutícula (µm)
Petomech II .....	1,16	26,13	13,75	6,94
H-324-1 .....	1,14	22,54	17,97	8,44
H-2274 .....	1,09	25,58	12,81	6,41
Mecheast 55 .....	0,95	25,42	12,40	5,94
Ventura .....	0,86	26,92	11,22	5,34
Napoli .....	0,73	31,54	11,19	5,75
Chef .....	0,68	28,88	7,69	4,81
Número de determina- ciones .....	350	210	56	56
Error típico de las me- dias .....	0,022	0,37	0,33	0,17
Coefficiente de correla- ción con fuerza de punción .....		- 0,818 (**)	0,830 (**)	0,825 (**)

(\*\*) Significativo al nivel del 1 por 100.

El problema surgiría al ser necesario compaginar resistencia mecánica y resistencia al agrietamiento. Al ser la elasticidad de la epidermis el componente principal de la resistencia al agrietamiento (COTNER *et al.*, 1968) esta característica no es en principio opuesta a las que confieren resistencia mecánica. Como apuntan los autores citados, la distribución del agua en el interior del fruto puede ser el factor decisivo en la pérdida de elasticidad y el consiguiente agrietamiento de la piel.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se estudia la resistencia mecánica de la piel de diferentes variedades cultivadas de tomate para industria, especie *Lycopersicon esculentum* (Solanáceas). Mediante ensayos de punción se determina esta resistencia, la cual resulta significativamente diferente para las medias de las variedades ensayadas.

Sobre las mismas variedades se estudia histológicamente la estructura de la piel mediante inclusión en parafina tinción doble y secciones al microtomo. La cutícula y su introducción entre la capa de células epidérmicas presenta un gran interés en este estudio, pues penetra incluso al segundo y tercer nivel de capas subepidérmicas como en el caso de Petomech II y H-324-1, variedades con valores de resistencia más altos (Cuadro 1).

En el estudio de la estructura histológica de la piel de estas mismas variedades se observan amplias diferencias en lo que respecta a: forma y tamaño de las células de la capa epidérmica, grosor de la cutícula y su penetración entre las células de esta capa externa y constitución de la hipodermis, o capas inmediatamente por debajo de la misma. Estas observaciones son tanto visuales, como tras el análisis estadístico de las magnitudes: anchura y altura de las células y grosor de la cutícula.

Resulta claramente determinantes los mencionados parámetros de la resistencia a punción, en la totalidad de las variedades estudiadas. La utilización de la resistencia a la punción exterior de los frutos (altamente correlacionada con la resistencia mecánica de los mismos) para el conocimiento del comportamiento de las variedades es adecuada, en el sentido de que mide realmente una característica estructural de dichos frutos. Es así posible la selección de aquellas variedades o líneas más ventajosas con respecto a la manipulación mecánica (también transporte, durabilidad, etc.) en el aspecto de la resistencia de la piel, componente principal aunque no único de dicha resistencia.

Con estos resultados se abre la posibilidad del conocimiento precoz de la resistencia de los frutos de tomate, si se comprueba la constancia de las características epidérmicas mencionadas. Se haría posible este ensayo en frutos en las primeras fases de formación, en las que es impactable el ensayo de punción.

## AGRADECIMIENTO

La parte fundamental del estudio histológico, así como las microfotografías han sido realizadas en el Departamento de Biología y Fisiología Vegetal de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, a cuyo jefe, don C. GOMEZ CAMPO, y personal auxiliar expresamos nuestro profundo agradecimiento.

## RESUME

On étudie la résistance mécanique de la peau de différentes variétés de tomates cultivées pour l'industrie, espèce *Lycopersicum esculentum* (Solanacées). Grâce à des essais de ponction, on détermine cette résistance qui peut varier d'une façon significative, selon les moyennes de variétés étudiées.

Sur les mêmes variétés, on étudie histologiquement la structure de la peau par immersion dans la parafine, la teinture double et les sections au microtome. La cuticule et son introduction entre la couche de cellules épidermiques présente un grand intérêt pour cette étude puisque elle pénètre même les deuxième et troisième niveaux des couches subépidermiques.

Dans l'étude de la structure histologique de la peau de ces mêmes variétés, on observe de grandes différences en ce qui concerne: la forme et la taille des cellules de la couche épidermique, l'épaisseur de la cuticule et sa pénétration entre les cellules de cette couche externe et la constitution de l'hipodermis ou des couches placées immédiatement sous celle-ci. Ces observations sont autant visuelles que statistiques, d'après l'analyse de la largeur et de la hauteur des cellules et de l'épaisseur de la cuticule.

Ces paramètres déterminent la résistance à la ponction dans toutes les variétés étudiées. La résistance à la ponction extérieure des fruits (qui se présente en corrélation avec leur résistance mécanique) est très utile à la connaissance du comportement des ces variétés, puisqu'elle mesure une caractéristique structurale des fruits.

## SUMMARY

### Structure of tomato skin related to mechanical resistance.

Mechanical skin resistance of different cultivars of processing tomato (*Lycopersicum esculentum*, *Solanaceae*) was studied. This resistance was measured by puncture tests, which consistently yield significant differences for the means of the varieties.

On the same varieties, samples of skin were investigated, using histological techniques commonly applied (inclusion in paraffine, double tinction and microtome sectioning). Cuticle and its penetration into the epidermic cell shows a high interest in this study; it penetrates into the 2nd and even 3rd levels of subepidermal layers, as in the case of varieties Petomech II and H-324-1, which show the highest resistance values measured.

Important differences appear in the histological structure of these varieties, especially in: shape and size of the epidermal cells, thickness of the cuticle, penetration between the cells of this first layer and structure of the hipodermis (= layers immediately below). This visual observations are confirmed by measuring and analyzing width and height of the cells and cuticle thickness.

These parameters determine puncture resistance, in all the varieties investigated. Therefore, the use of puncture resistance of the fruits (highly correlated with their mechanical resistance) is adequate in that it really measures a structural character of those fruits.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BATAL K. M., WEIGLE J. L., LERSTEN N. R., 1972. Exogenous growth-regulator effect on tomato fruit cracking and pericarp morphology. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **97** (4), 529-531.
- COTNER S. D., BURNS E. E., LEEPER P. W., 1968. Pericarp anatomy of crack-resistant and susceptible tomato fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **93**, 136-137.
- FISCHER R. R., VON ELBE J. H., SCHULER R. T., BRUHN, H. B., MOORE J. D., 1969. Some mechanical properties of sour cherries. *Trans. ASAE*, **12** (2), 175-179.
- FLUCK R. C., GULL D. D., 1972. Mechanical Properties of tomatoes affecting harvesting and handling damage. *Fla-State Hort. Soc.*, **4607**, 160-165.
- HENRY Z. A., ALLEN W. H., 1974. Use of hydrostatic pressure in development of stress-strain information for tomato skins. *Trans. ASAE*, **17**, 787-789 y 792.
- JOHANNSEN D. A., 1940. Plant microtechnique. Mac Crow-Hill, New York.
- MARTINEZ M., AYERBE L., FERNANDEZ J., 1970. Técnicas de histología vegetal. Monografías de la ETSIA. Madrid.
- MEL CHIH-YU CHU, THOMPSON A. E., 1972. Comparative anatomy of pericarps of four tomato mutants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **97** (4), 478-481.

I. N. I. A.

Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias  
José Abascal, 56 - Tel. 441 31 93  
Madrid-3 (España)